



KATEDRA AUTOMATYKI, BIOMECHANIKI
I MECHATRONIKI



Laboratorium Automatyki

TEMAT:

*Obsługa wybranych funkcji oscyloskopu i generatora
sygnałów na przykładzie urządzeń SIGLENT SDS
1022 DL i SDG 1025*

Aktualizacja: 03.01.2022
Opracował: mgr inż. Krystian Polczyński
wersja: 1.0

Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z obsługą podstawowych funkcji oscyloskopu SIGLENT SDS 1022DL oraz generatora sygnałów SIGLENT SDG 1025.

1 Do czego służy oscyloskop i generator sygnałów [1], [2]

Oscyloskop jest jednym z podstawowych urządzeń wykorzystywanych w miernictwie do badania przebiegów sygnałów elektrycznych w czasie. Pozwala na wyświetlanie interesujących nas okien czasowych, zarejestrowanego sygnału napięciowego, które można powiększać bądź oddalać, a także przesuwac na wyświetlaczu urządzenia. Dzięki temu ułatwia on identyfikację podstawowych parametrów mierzonego sygnału, takich jak: kształt sygnału, amplituda, okres, czasy narastania/opadania oraz inne charakterystyczne zmiany sygnału np. peak (ang. *peak* – szczyt, maksimum).

Dzisiejsze oscyloskopy potrafią wykonywać na mierzonych sygnałach podstawowe działania matematyczne, do których należy: dodawanie, odejmowanie, dzielenie czy mnożenie. Ponadto, istnieje możliwość wykonania bardziej zaawansowanych operacji matematycznych, do których należy szybka transformacja Fouriera (*FFT – Fast Fourier Transform*), wykorzystywana w analizie częstotliwościowej.

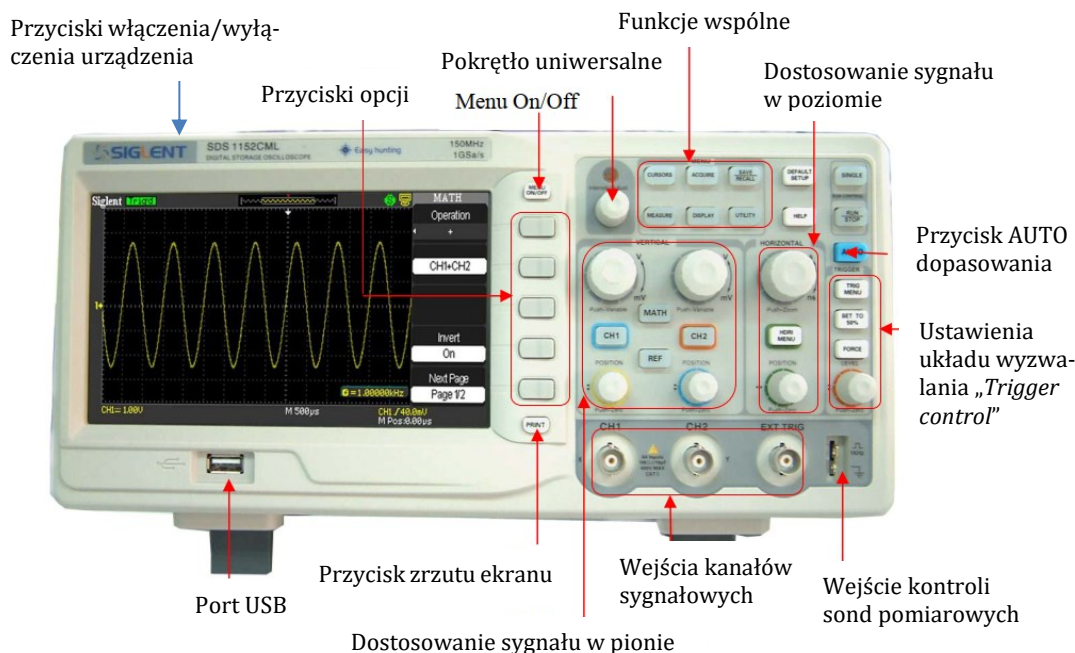
Generator sygnału jest urządzeniem wytwarzającym sygnał napięciowy o zadanym kształcie np. sinusoidalnym, trójkątnym, impulsowym czy prostokątnym. Jeśli generator daje możliwość generowania sygnału o dowolnym przebiegu, nazywany jest wtedy generatorem przebiegów arbitralnych. Generatory te, umożliwiają wytworzenie sygnałów o częstotliwościach typowo od 0.01 Hz do 50 MHz, z różnym amplitudami, przesunięciami fazowymi, czy przesunięciami o stałą wartość (ang. *offset*). Najczęściej wykorzystywane są one do sprawdzania poprawności działania układów elektronicznych np. filtrów, wzmacniaczy, układów automatyki bądź też do taktowania układów cyfrowych.

2 Obsługa oscyloskopu SIGLENT SDS 1022DL [3]

Omawiany rozdział został opracowany w oparciu o dane zamieszczone w instrukcji urządzenia pochodzącej od producenta. W związku z powyższym, w przypadku braku szczegółowych informacji dotyczących przedmiotowego urządzenia należy szukać odpowiedzi we wskazanej instrukcji.

Poniżej przedstawiono kroki jakie należy wykonać aby dokonać obserwacji mierzonego sygnału przy użyciu oscyloskopu.

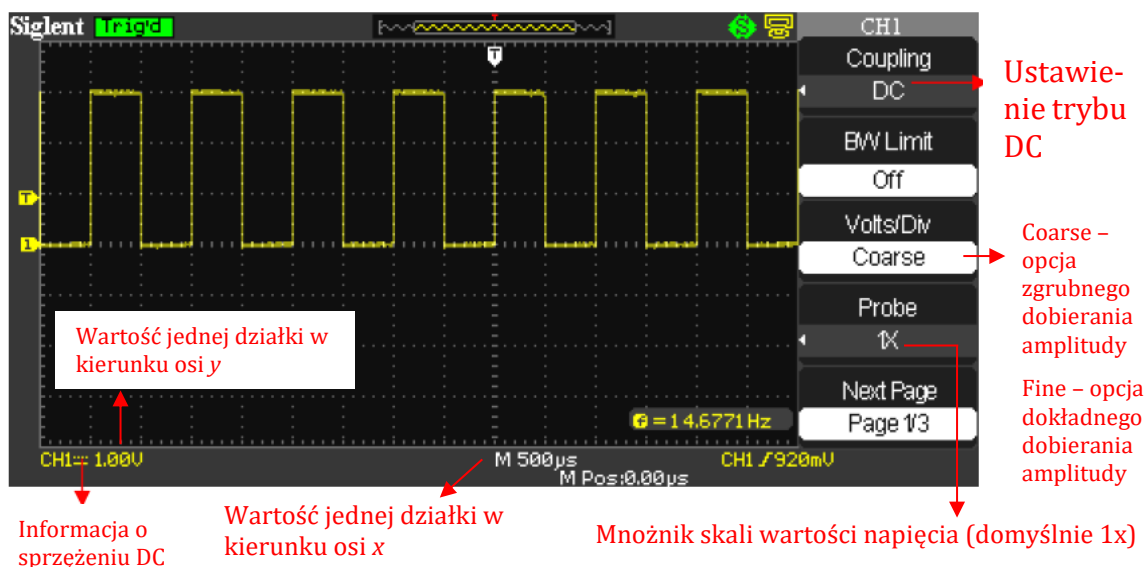
- Aby korzystać z urządzenia należy je włączyć do sieci elektrycznej przy pomocy przewodu, a następnie wcisnąć przycisk *włącz(/wyłącz)* znajdujący się na jego górnej pokrywie.
- Przedni panel cyfrowy oscyloskopu SIGLENT z serii SDS 1000L został przedstawiony na rys. 1. Zostały na nim zaznaczone pokrętła i przyciski za pomocą, których dokonuje się doboru opcji wyświetlania mierzonych sygnałów według naszych wymagań.
- Oscyloskop ma możliwość pomiaru jednocześnie dwóch sygnałów napięciowych. Sygnały te podłącza się do wejść kanałów oznaczonych, jako *CH1* i *CH2* za pomocą przewodów lub sond pomiarowych. Aby spowodować ich wyświetlenie na ekranie urządzenia należy uaktywnić je przyciskami opisanymi na przednim panelu, jako *CH1* i *CH2*.



Rys. 1. Przedni panel oscyloskopu SIGLENT z serii SDS 1000L.

- Przy pomiarze sygnału należy wybrać jeden z trzech trybów sprzężenia (ang. *coupling*) AC, DC lub GND, tak jak przedstawiono to na rys. 2.

Założmy, że mierzymy sygnał sinusoidalny $f(t) = \sin(t) + 2$ przesunięty o 2 jednostki wzdłuż osi y , w trybie DC urządzenie wyświetli rzeczywisty przebieg mierzonego sygnału, czyli $f(t) = \sin(t) + 2$. Jeżeli zaś zaznaczymy tryb AC, oscyloskop zablokuje składową stałą mierzonego sygnału i wyświetli tylko tę składową, która zmienia się w czasie, czyli $f(t) = \sin(t)$. Zaś tryb GND odłącza sygnał wejściowy i pozwala zobaczyć, gdzie leży poziom zero woltów. Warto mieć na uwadze, że ustawienie wyboru trybu sprzężenia można wykonać niezależnie na obu kanałach. Na poniższym rysunku przedstawiono przykład dla kanału CH1.



Rys. 2. Wybór trybu sprzężenia (ang. *coupling*) AC, DC lub GND.

- Kiedy dokonamy wyboru trybu sprzężenia, kolejnym ważnym krokiem jest dostosowanie układu wyzwalania podstawy czasu (ang. *trigger system*) dla mierzonego sygnału. Układ ten odpowiada za to, kiedy oscyloskop ma rozpocząć pomiar i wyświetlić go na ekranie. Oscyloskop posiada wewnętrzny generator sygnału piłokształtnego tzw. *podstawę czasu*, który dyktuje długość odcinka badanego sygnału jaki chcemy oglądać. Dlatego, jeśli ustawimy podstawę czasu na wartość okresu sygnału mierzonego, oscyloskop pokaże nam jeden pełny okres tego sygnału. Jeśli zmniejszymy ten czas np. 4 krotnie, na ekranie zaobserwujemy 4 okresy mierzonego sygnału. W przypadku, gdy okres podstawy czasu nie jest całkowitą wielokrotnością okresu badanego sygnału, wyświetlany wykres będzie niestabilny i zaobserwujemy tzw. *płynięcie wykresu*. Zjawisko to, wynika z braku synchronizacji układu podstawy czasu. Kiedy oscyloskop ma dobrze ustawiony układ wyzwalania podstawy czasu na ekranie nie powinny występować niestabilne wykresy.

Rys. 3 pokazuje panel przycisków dla układu wyzwalania z pokrętką do regulacji poziomu wyzwalania.



Rys. 3. Pokrętło do regulacji poziomu wyzwalania w układzie wyzwalania podstawy czasu.

Pokrętło regulacyjne służy do ustawienia odpowiedniego napięcia sygnału wyzwalania w celu rozpoczęcia próbkowania sygnału mierzonego przez oscyloskop. Poziom wyzwalania powinien być ustawiony tak, aby przecinał mierzony sygnał (zobacz rys. 2, po lewej stronie wykresu znajduje się żółty znacznik z literką T zaznaczający poziom wyzwalania). W przypadku, gdy poziom ten zostanie ustawiony na wyższy lub niższy niż rejestrowany sygnał wystąpi płynięcie wykresu, ponieważ generator podstawy czasu nie zostanie wyzwolony.

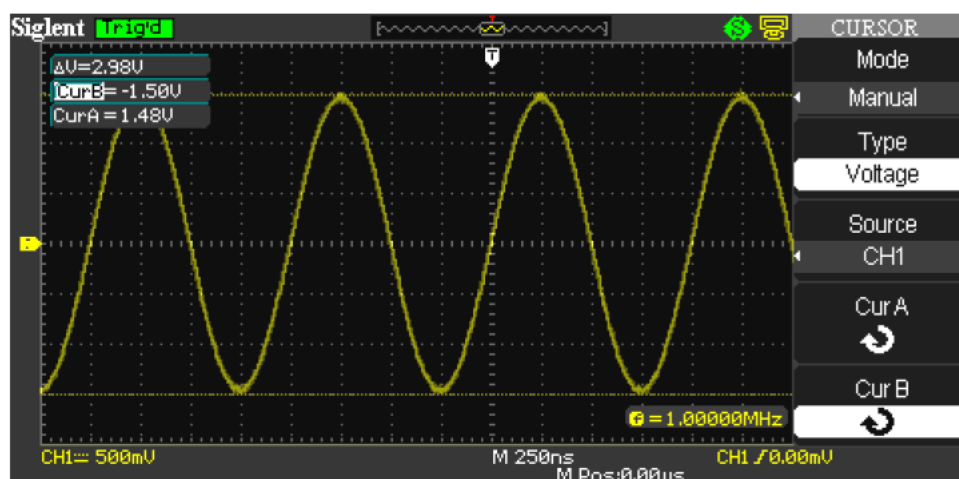
Urządzenie oferuje nam do wyboru kilka typów wyzwalania: *Edge*, *Video*, *Pulse*, *Slope* i *Alternative*. Domyślnie używanym jest tryb *Edge* z narastającym zboczem , oznacza to, że generator podstawy czasu będzie wyzwalany w chwili gdy poziom wyzwalania zostanie przecięty przez narastające zbocze mierzonego sygnału. Następnie dla tego typu wyzwalania możemy wybrać opcję *auto* lub *normal*. W trybie *normal* w chwili gdy poziom wyzwalania nie przecina sygnału mierzonego, na ekranie oscyloskopu nie pokaże się obraz mierzony, ponieważ nie zostanie wyzwolony generator podstawy czasu. Dlatego też, urządzenie domyślnie ustawia tryb *auto*, w którym generator podstawy czasu jest wyzwalany automatycznie bez względu na to, czy pojawia się impuls wyzwalający czy nie. W tym trybie, natomiast może zdarzyć się, że obraz będzie płynąć, ale pomimo tego da nam on informacje o amplitudzie badanego sygnału, którą możemy wykorzystać do ustawienia odpowiedniego poziomu wyzwalania w trybie *normal*. Warto podkreślić, że jeśli w trybie *Edge* mierzymy dwa sygnały to musimy wybrać dla którego sygnału określamy poziom wyzwalania (w opcjach mamy do wyboru *CH1*, *CH2* oraz inne opcje *EXT*, *EXT/5*, *AC Line*). Należy, wtedy wybrać kanał, na którym mierzymy sygnał o niższej częstotliwości. Dzięki temu wykres drugiego sygnału o wyższej częstotliwości nie będzie płynął (o ile jego wartość jest

całkowitą wielokrotnością tej niższej częstotliwości). W przypadku, gdy chcemy mierzyć dwa sygnały, których częstotliwości nie są swoimi całkowitymi wielokrotnościami możemy użyć trybu *Alternative*. Pozwala on na ustawienie niezależnych wartości poziomów wyzwalania dla każdego z mierzonych sygnałów, tak jak w trybie *Edge*, przy czym ekran oscyloskopu zostaje podzielony i pojawiają się dwa wykresy dla każdego z mierzonych sygnałów.

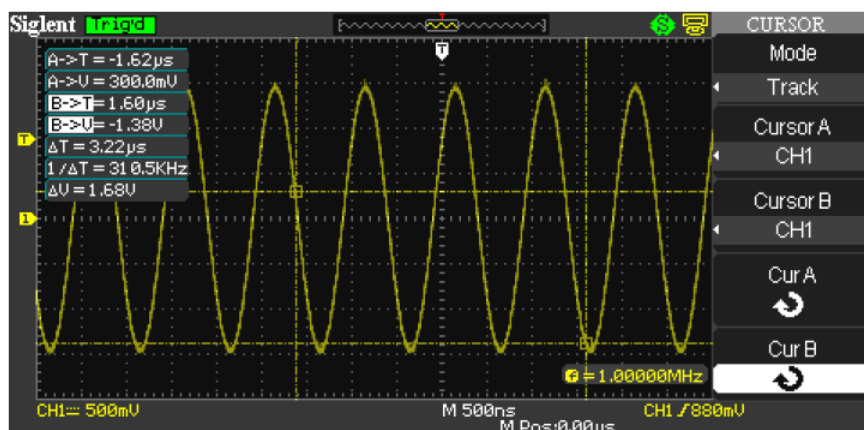
Jeśli zależy nam na czasie bądź mamy trudności ze skonfigurowaniem układu wyzwalania możemy skorzystać z opcji automatycznego dostrojenia mierzonych sygnałów dostępnej pod niebieskim przyciskiem *AUTO*. Tryb *AUTO* samodzielnie określa warunki układu wyzwalania podstawy czasu.

- Wartości mierzonego sygnału, takie jak amplituda czy okres możemy odczytywać na kilka sposobów. Najprostszym, ale i najmniej dokładnym jest sposób oszacowania tych wielkości przy użyciu siatki wyświetlanej na ekranie oscyloskopu i znajomości wartości jednej działki siatki w danym kierunku. Wartości te są podane na dolnym pasku ekranu. Innym sposobem bardziej dokładnym jest używanie kursorów dostępnych po naciśnięciu przycisku *CURSORS* na panelu oscyloskopu. W wyświetlonym menu mamy do wyboru 3 tryby kursorów: *Manual*, *Track* oraz *Auto*. W trybie *manual* patrz rys. 4a wyświetlają nam się dwie równoległe linie (kursory A i B) w kierunku pionowym lub poziomym w zależności od tego co wybierzemy w menu (*Voltage* – poziom, *Time* – pion). Następnie musimy wybrać źródło (ang. *Source*), czyli sygnał który chcemy mierzyć np. *CH1*, *CH2* lub wynik operacji matematycznych *MATH* tych sygna-

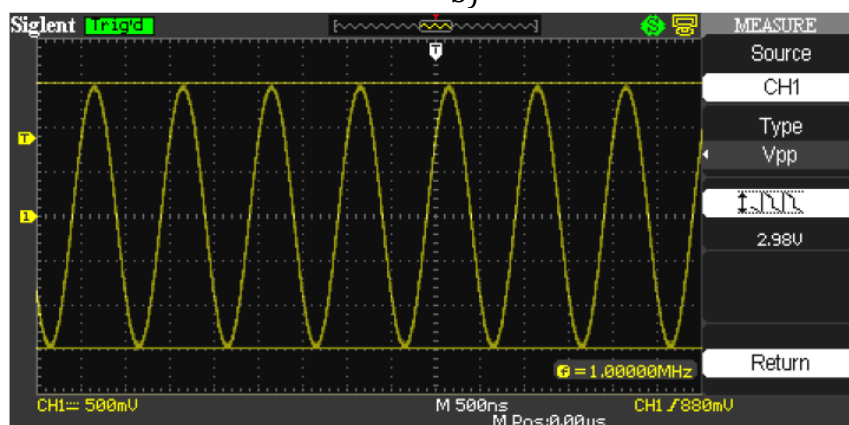
łów. Następnie wybierając w menu opcję  lub  i kręcąc uniwersalnym pokrętkiem ustawiamy położenie kursorów na ekranie, a w jego górnym lewym rogu odczytujemy zmierzone wartości. Tryb *Track* polega na tym, że kursor przyczepiony jest do przebiegu mierzonego sygnału patrz rys. 4b. W trybie *Auto* kursory zostaną automatycznie dopasowane do sygnału (patrz rys. 4c) po naciśnięciu przycisku *MEASURE* znajdującego się na przednim panelu urządzenia w zależności od tego co wybierzemy do pomiaru np. *Voltage* czy *Time*.



a)



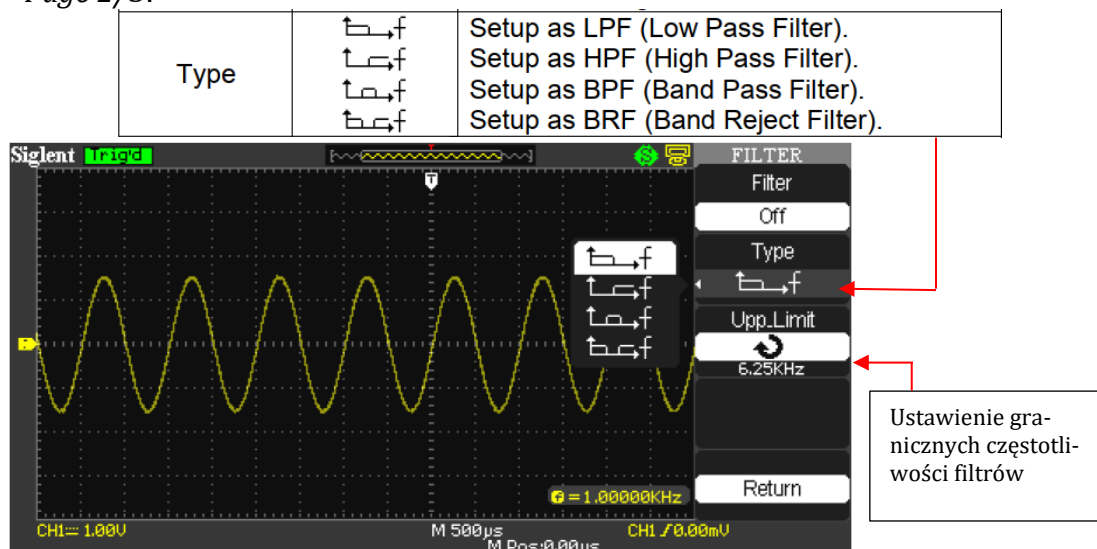
b)



c)

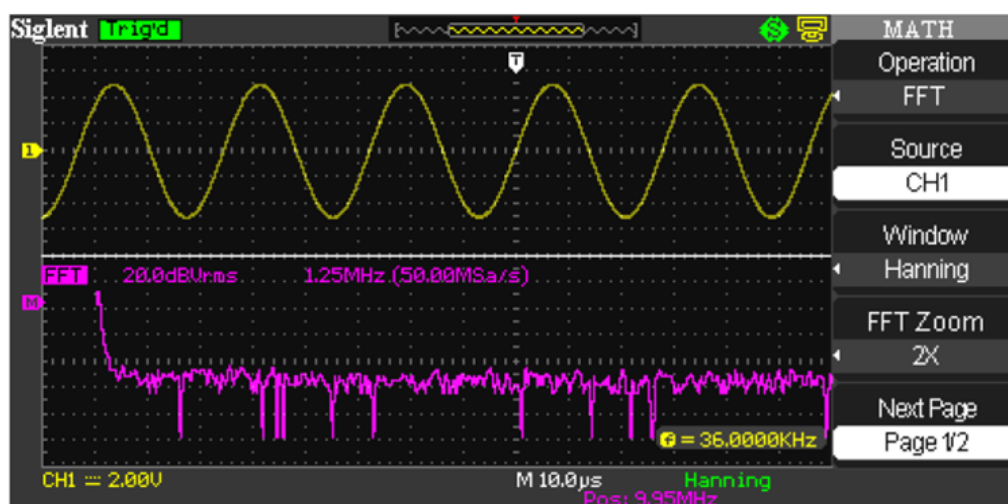
Rys. 4. Menu i kursory w trybie Manual (a), Track (b) i Auto (c).

- Dodatkowo oscyloskop umożliwia nam cyfrowe odfiltrowanie mierzonego sygnału jednym z 4 rodzajów filtrów (patrz rys. 5): dolnoprzepustowym (LPF – Low Pass Filter), górnoprzepustowym (HPF – High Pass Filter), środkowoprzepustowy (BPF – Band Pass Filter) oraz środkowozaporowy (BRF – Band Reject Filter). Opcję filtru możemy znaleźć w tym samym MENU, co opcję sprzężenie (coupling), można też zrobić to wciskając następujące klawisze na oscyloskopie CH1/CH2→MENU ON/OFF→Next Page 2/3.



Rys. 5. Opcje cyfrowego filtrowania mierzonego sygnału.

- Na mierzonych sygnałach możemy wykonać podstawowe operacje matematyczne, takie jak: dodawanie, odejmowanie, mnożenie i dzielenie. Aby to zrobić należy doprowadzić do oscyloskopu dwa sygnały na dwa kanały *CH1* i *CH2*, a następnie wcisnąć przycisk *MATH*. Przy operacjach odejmowania i dzielenia należy uważać, który kanał dzielimy bądź odejmujemy od którego. Istnieje też możliwość odwrócenia wyniku działania po zaznaczeniu w *MATH* menu opcji *Invert*. Wynik działania można dostosować na ekranie oscyloskopu w pionie  i w poziomie  przy użyciu uniwersalnego pokrętki.
- Bardziej zaawansowaną operacją matematyczną dostępną w działaniach matematycznych jest szybka transformacja Fouriera (FFT), która zamienia dziedzinę analizowanego sygnału z czasu na dziedzinę częstotliwości jego komponentów. W tego typu analizie sygnału najpierw musimy określić kanał tego sygnału (*CH1* czy *CH2*) patrz rys. 6. Następnie musimy wybrać rodzaj okna czasowego (funkcję dyktującą jak pobierane są próbki sygnału) z 4 dostępnych: *Hanning*, *Hamming*, *Rectangular*, *Blackman*.



Rys. 6. Przykładowe okno z wybraną funkcją szybkiej transformacji Fouriera FFT.

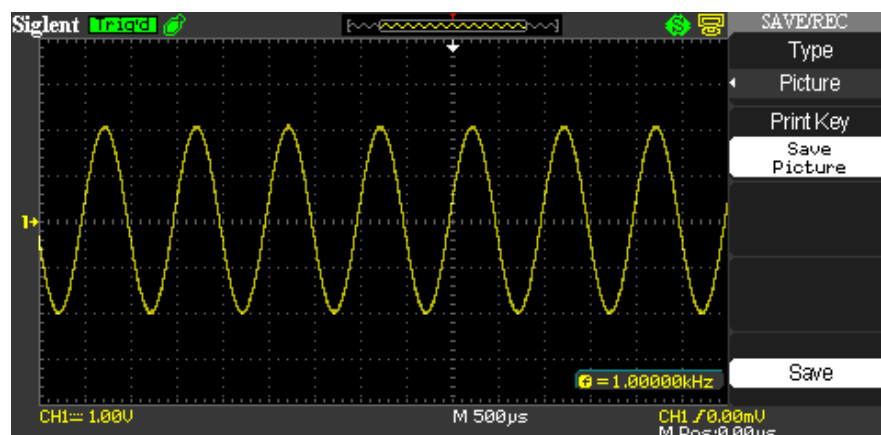
Ponieważ celem tego ćwiczenia nie jest zajmowanie się teorią na temat szybkiej transformacji Fouriera i tym, które jej algorytmy są najlepsze, idąc za producentem urządzenia wybór okna czasowego w naszym przypadku można oprzeć na informacjach z następującej tabeli.

Okno czasowe	Wady, zalety	Stosowane do sygnału
Rectangular	Najlepsza rozdzielczość częstotliwości, gorsza rozdzielczość amplitud w widmie.	Symetryczne stany nieustalone lub przerywane. Fale sinusoidalne o równej amplitudzie ze stałymi częstotliwościami. Szerokopasmowy losowy szum ze stosunkowo wolno zmieniającym się widmem.
Hanning Hamming	Lepsza dokładność częstotliwości ale gorsza dokładność amplitudy niż	Sinusoidalny, periodyczny, losowy szum wąskopasmowy oraz asymetryczny stan nieustalony lub przerywany.

	w przypadku Rectangular. Hamming ma nieznacznie lepszą rozdzielczość częstotliwości niż Hanning.	
Blackman	Najlepsza rozdzielczość amplitudy widma ale najgorsza częstotliwości.	Przebiegi o pojedynczej częstotliwości w celu znalezienia harmonicznych wyższego rzędu.

Następnie możemy wybrać powiększenie od $1X$ do $10X$ widma sygnału w kierunku poziomym. Na następnej stronie FFT menu możemy wybrać skalę jednostek dla pionowej osi, do wyboru mamy napięcie skuteczne V_{rms} lub skalę logarytmiczną napięcia skutecznego w decybelach dBV_{rms} . Możemy też wybrać czy widmo analizowanego sygnału będzie wyświetlane bezpośrednio na mierzonej przez nas ekranie poprzez wybór opcji *Full screen* albo podzielenie ekranu pomiędzy analizowany sygnał i jego widmo poprzez wybór opcji *Split*. Trzeba pamiętać, że na raz możemy wyświetlić widmo częstotliwościowe tylko jednego kanału i dobrze jest ustawić możliwie dużo (kilkadziesiąt) cykli analizowanego sygnału na ekranie, co polepszy wynik FFT. Pomiar amplitudy i częstotliwości widma należy dokonywać kursorami w trybie *Manual* wybierając jako źródło *MATH*.

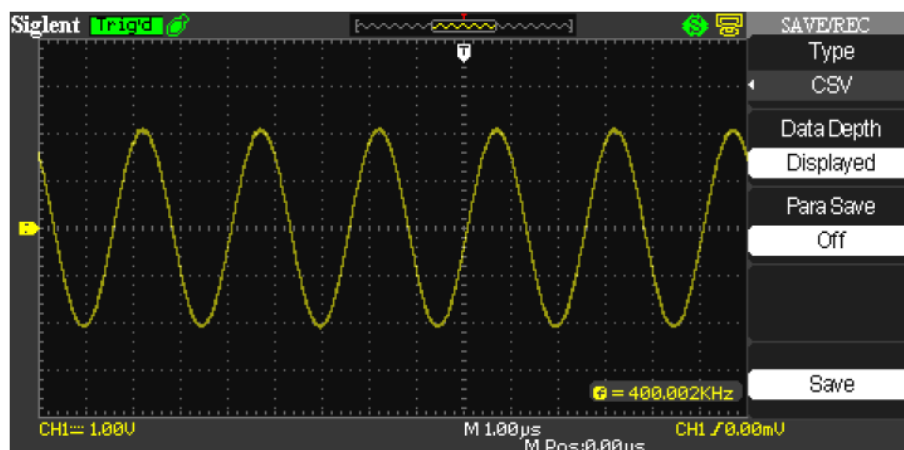
- Urządzenie oferuje kilka możliwości zapisu/odczytu danych. Dane można zapisać (bądź odczytać) na wewnętrznej pamięci urządzenia lub zewnętrznym nośniku pamięci USB wpinanym do portu widocznego na przednim panelu urządzenia po kliknięciu przycisku *SAVE/RECALL*. Wciśnięcie tego przycisku otwiera nam menu, w którym mamy kilka opcji do wyboru. Opcja *Setups* to opcja zapisania ustawień urządzenia, które później można wczytać (ang. *recall* – przywołaj). Opcja *Factory* to opcja, którą tylko można przywołać, ponieważ wróci ona urządzenie do ustawień fabrycznych. *Waveforms*, to opcja pozwalająca zapisać wyświetlany na ekranie sygnał w formacie *.DAV*, a także później przywołanie go przez oscyloskop. Opcja *Picture* pozwala na zapisanie wyświetlanego na ekranie sygnału w formacie *.BMP*, ale nie ma możliwości przywołania takiego pliku przez oscyloskop. Opcja *CSV* zapisuje wyświetlany na ekranie sygnał w pliku *.CSV*, którego dane później można odczytać przy użyciu np. Excela. Po wybraniu interesującej nas opcji klikamy *SAVE* bądź *RECALL*, co przeniesie nas do menu zapisu (analogicznie odczytu), gdzie możemy wybrać interesujący nas folder oraz nadać nazwę zapisywanego (odczytywanego) pliku. Najczęściej wybieranymi opcjami podczas ćwiczenia będzie *Picture* oraz *CSV*. W opcji *Picture* (patrz rys. 7) ustawiając *Print key* jako *Save Picture*, urządzenie będzie robiło zrzut ekranu na USB poprzez przyciśnięcie przycisku *PRINT*. Znajdziemy go na przednim panelu oscyloskopu. Wtedy nadawana jest domyślna nazwa pliku np. „*SDS0...*”. Istnieje również możliwość zapisania zrzutu samodzielnie przez kliknięcie *Save* i wybranie folderu zapisu oraz nadanie nazwy pliku. Proponowane jest aby robić zrzuty ekranu przyciskiem *PRINT*, a po każdym wykonaniu zrzutu wyjąć USB z oscyloskopu, zgrać zrzut na komputer i usunąć plik z USB. Często zapobiega to zawieszaniu się oscyloskopu bądź długiemu czasowi zapisu pliku kolejnego zrzutu ekranu.



Rys. 7. Zapisywanie danych przy pomocy opcji PICTURE.

Zapis analizowanych sygnałów do pliku .CSV został przedstawiony na rys. 8. Jest to format pliku, gdzie zapisane dane zmierzonego sygnału rozdzielane są przecinkiem. W formacie tym, zapisujemy zarówno napięcie jak i czas. Trzeba jednak pamiętać, że separatorem dziesiętnym jest kropka (.) i po otwarciu takiego pliku np. w Excelu w celu zrobienia wykresu należy zamienić kropki na przecinki. Podczas zapisu, w menu możemy wybrać czy urządzenie ma zapisać tylko dane sygnału który obecnie jest wyświetlany na ekranie (*Data Depth* → *Displayed*), czy dane o maksymalnej długości (*Data Depth* → *Maximum*). Opcja *Para Save* zapisuje w pliku .CSV oprócz danych sygnału, parametry oscyloskopu dla jakich zostały one zapisane, aby to zrobić należy ustawić *ON*, natomiast, aby pominąć tę informację należy ustawić *OFF*.

Na zajęcia proszę wziąć ze sobą PENDRIVE. Zaleca się, aby na wszelki wypadek nie przechowywał on danych, mogą ulec utracie!

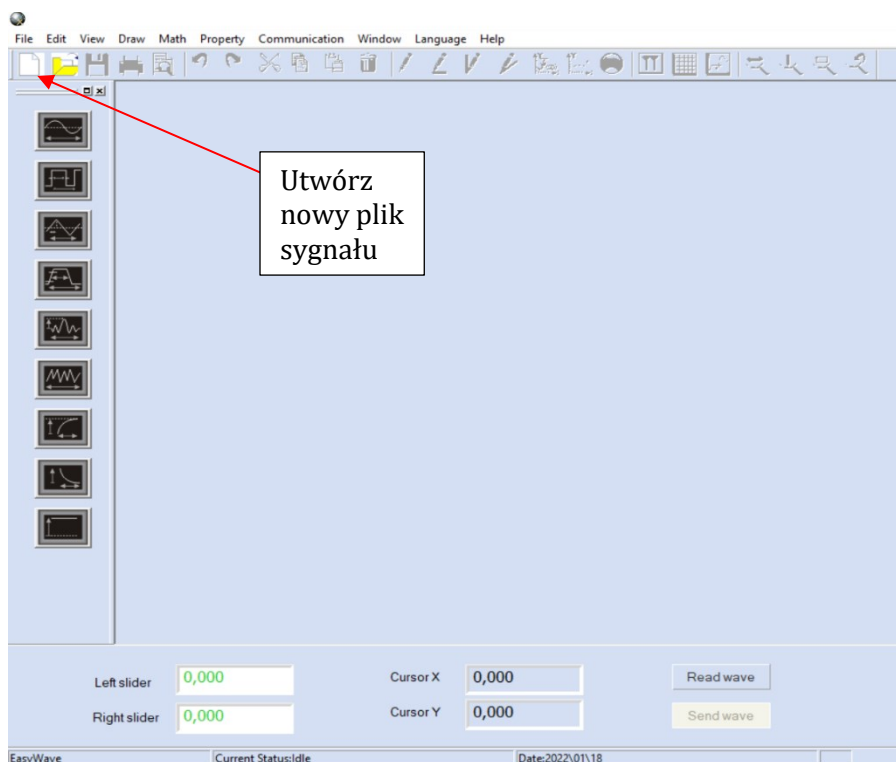


Rys. 8. Zapisywanie danych przy pomocy opcji CSV.

3 Obsługa generatora SIGLENT SDG 1025 [4]

Używany podczas ćwiczenia generator posiada dwa kanały wyjściowe. Na kanałach tych można ustawić dwa niezależne sygnały. Z poziomu samego generatora można wygenerować kilka z podstawowych sygnałów, takich jak: sinusoidalny, prostokątny, trójkątny, impulsowy czy szum. Istnieje również możliwość wygenerowania sygnału jednej z 48 funkcji arbitralnych zapisanych w urządzeniu np. funkcja Gaussa, tangens, pierwiastek, itd. Ponieważ generowanie sygnału z poziomu samego urządzenia jest przejrzyste opisane w

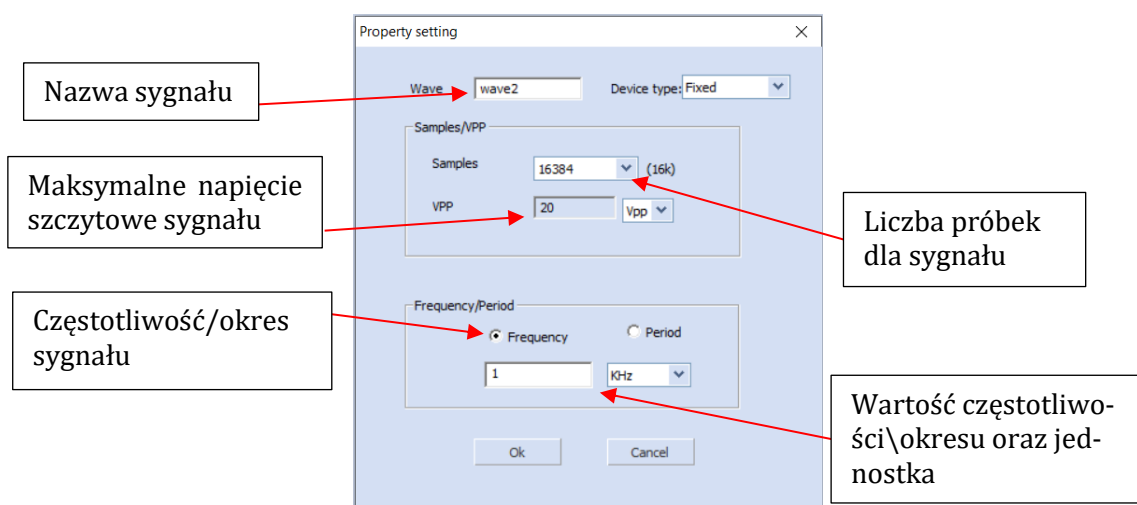
instrukcji producenta (która jest dołączona do tego dokumentu), opis czynności jakie należy wykonywać w celu jego wygenerowania zostanie tutaj pominięty. Generator daje również możliwość wygenerowania dowolnego sygnału, którego kształt projektuje się w programie komputerowym *EasyWave.exe*, a następnie wysyła do urządzenia na dany kanał wyjściowy. Główne okno programu *EasyWave.exe* pokazane jest na rys. 9.



Rys. 9. Główne okno programu *EasyWave.exe*.

Projektowanie sygnału w programie *EasyWave.exe* odbywa się w następujący sposób:

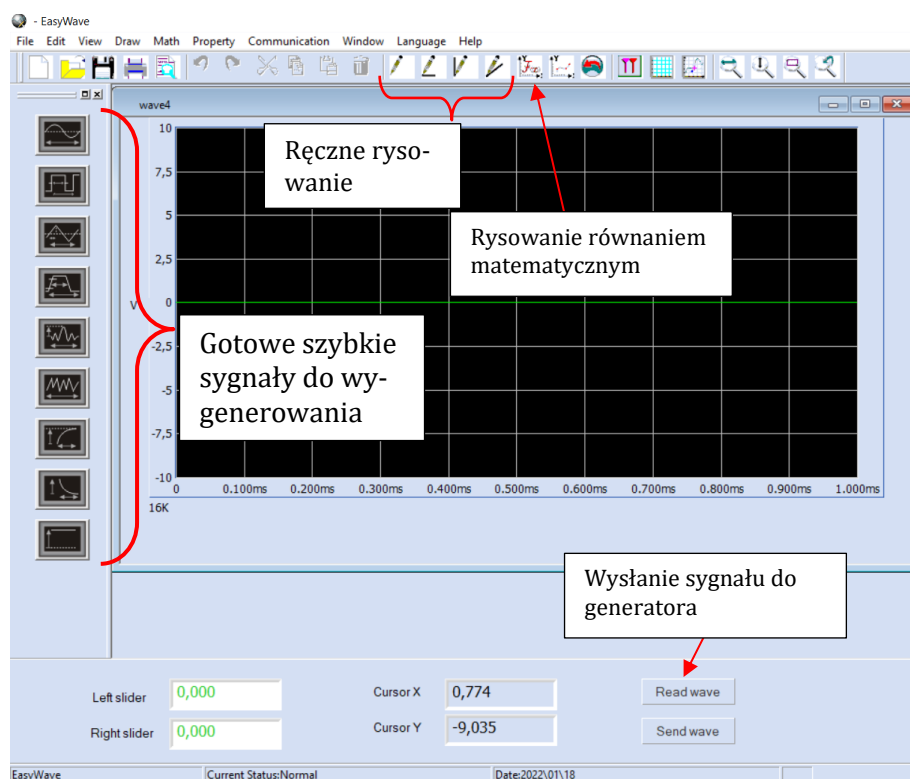
1. Tworzymy nowy plik sygnału poprzez kliknięcie ikony z podpisem „New” zaznaczonej na rys. 9.
2. Otwiera nam się okno „Property setting”, w którym ustawiamy parametry sygnału, patrz rys. 10.



Rys. 10. Okno *Property setting*.

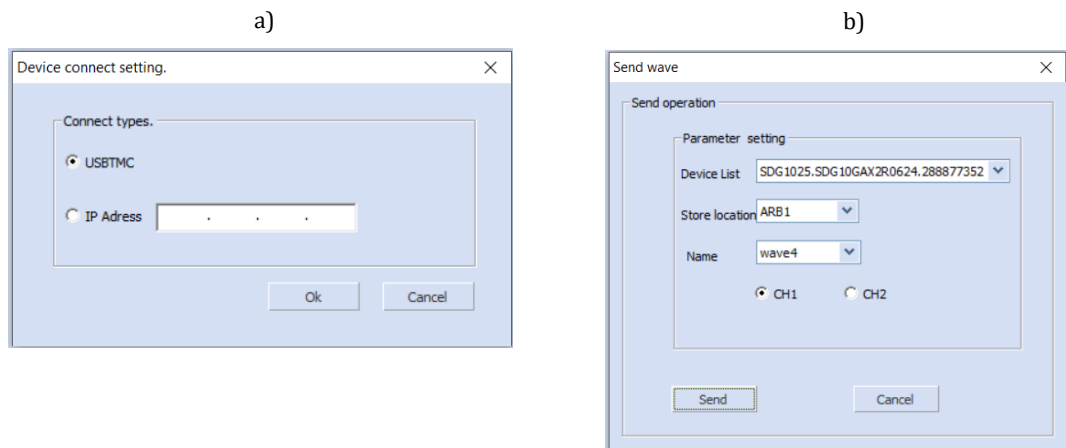
Ze względu na ograniczenia używanego przez nas urządzenia nie możemy ustawić liczby próbek innej niż 16384, podobnie jest z maksymalnym napięciem międzyszczytowym sygnału, które ustawione jest niezmiennie na 20 V. Najważniejszym parametrem do ustawienia w tym oknie jest wartość częstotliwości/okresu sygnału, który chcemy wygenerować.

- Po ustawieniu częstotliwości wyświetla nam się okno sygnału i to w tym momencie określamy, jaki ma on mieć przebieg. Kształt sygnału możemy zdefiniować na kilka sposobów np. używając gotowych funkcji, ręcznie bądź poprzez formułę matematyczną (rys. 11).



Rys. 11. Opcje definiowania kształtu sygnału w programie Easywave.exe.

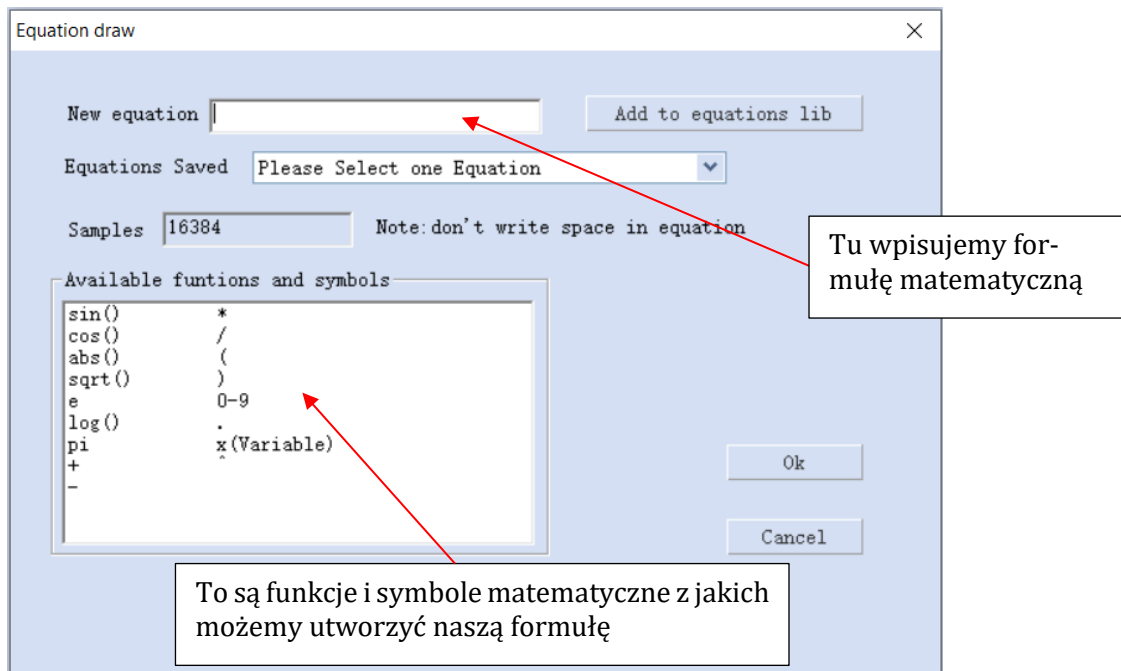
- Po narysowaniu sygnału w programie musimy wysłać go na jeden z dwóch kanałów generatora CH1 lub CH2. Robimy to poprzez kliknięcie przycisku *Send wave* (rys. 12), otworzą nam się dwa następujące po sobie okna



Rys. 12. Okna wyświetlające się podczas wysyłania sygnał z programu EasyWave.exe do generatora.

W oknie a) pozostawiamy domyślnie zaznaczoną opcję *USBTMC* połączenia z generatorem. Natomiast w oknie b) pozostawiamy domyślnie wykryte urządzenie SDG1025 w *Device list*, lokalizację w pamięci urządzenia pozostawiamy również domyślną, jako *ARB1*. Teraz wybieramy nazwę (*Name*) sygnału, który chcemy wysłać i oznaczamy, na który kanał generatora zostanie on wysłany *CH1* czy *CH2*. Finalizujemy wysyłanie poprzez kliknięcie przycisku *Send*.

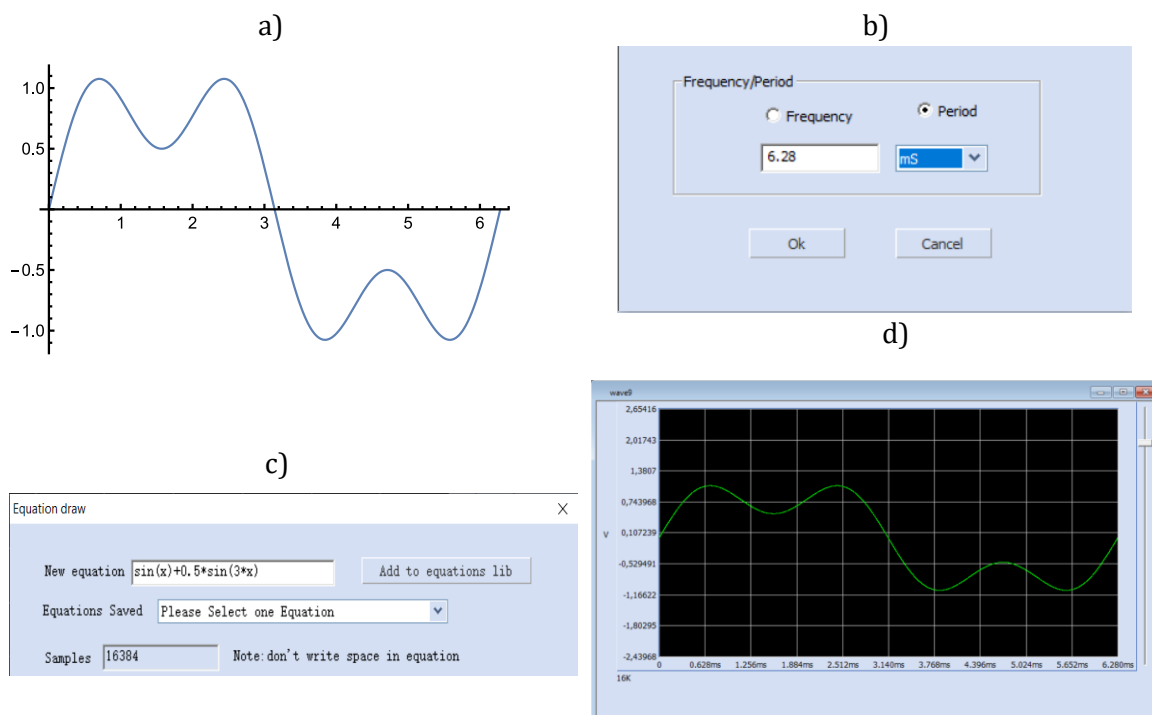
Teraz powróćmy jeszcze do projektowania sygnału przy użyciu opcji rysowania przez formułę matematyczną . Okno projektowania formułą matematyczną zostało przedstawione na rys. 13.



Rys. 13. Okno rysowania sygnału przy użyciu formuły matematycznej.

Założmy, że chcemy przesłać na generator sygnał $f(x) = \sin(x) + 0.5\sin(3x)$. Zaczniemy od tego, że z matematycznego punktu widzenia okres funkcji podstawowej, którą jest $\sin(x)$ wynosi 2π , natomiast okres harmonicznej $\cos(3x)$ wynosi $\frac{2\pi}{3}$, co za tym idzie okres

całej funkcji $f(x)$ będzie wynosił tyle co okres funkcji podstawowej (rys. 14a) tzn. funkcji o najdłuższym okresie. Przy tworzeniu nowego sygnału, naszym pierwszym krokiem jest określenie okresu(/częstotliwości) projektowanego sygnału, patrz rys. 10. Trzeba zwrócić uwagę, że okres(/częstotliwość) wpisany w tym oknie jest okresem jaki będzie miał cały zaprojektowany sygnał, czyli cała funkcja $f(x)$. Chcąc wygenerować założony sygnał należy wpisać w tym oknie okres jego funkcji podstawowej, czyli $2\pi = 2 \cdot 3.14 = 6.28$ oraz wybrać jednostkę czasu np. ms (rys. 14b). Następnie należy wpisać równanie matematyczne naszego sygnału w oknie rysowania funkcji formułą matematyczną (rys. 14c), w rezultacie otrzymamy naszą funkcję, patrz rys. 14d.



Rys. 14. a), d) reprezentacje funkcji $f(x)$, b), c) parametry i równanie funkcji $f(x)$.

Zgodnie z tym tokiem myślenia, gdy sygnał który projektujemy przy użyciu formuły matematycznej jest sumą funkcji okresowych np. $f_1(x) = \cos\left(\frac{2\pi}{24 \cdot 2\pi}x\right) + \cos\left(\frac{2\pi}{6 \cdot 2\pi}x\right)$, okres sygnału, jaki przyjmujemy powinien być równy okresowi funkcji podstawowej, czyli 48π . Wtedy w równaniu jakie wpisujemy do okna projektowania funkcji formułą matematyczną, okres funkcji podstawowej przyjmujemy za 2π , czyli mamy $\cos(x)$. Natomiast okresy funkcji harmoniczných będą wpisywane, jako wielokrotność okresu funkcji podstawowej, czyli $\frac{24 \cdot 2\pi}{6 \cdot 2\pi} = 4$, co da nam składową harmoniczną $\cos(4x)$. Całe równanie wpisane do formuły matematycznej będzie więc miało postać $f_1(x) = \cos x + \cos 4x$.

4 Bibliografia

- [1] M. M. Stabrowski, Cyfrowe Przyrządy Pomiarowe, Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2002.
- [2] P. Horowitz i W. Hill, Sztuka elektroniki, Warszawa: Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 1996.

- [3] SIGLENT TECHNOLOGIES CO.,LTD, „User Manual SDS1000DL/CNL/CML Series Digital Oscilloscope,” 3 1 2022. [Online]. Available: <https://www.siglenteu.com/resources/documents/>.
- [4] SIGLENT TECHNOLOGIES CO.,LTD, „Instrukcja obsługi. Genrator Arbitralny Siglent SDG1005/SDG1020/SDG1025/SDG1050,” 1 3 2022. [Online]. Available: <https://www.siglenteu.com/resources/documents/>.